OBSERVATIONS SUR LA THÉORIE GÉNÉRALE DES PHÉNOMÈNES GLACIAIRES ET SUR LES GALETS STRIÉS.

PAR STANISLAS MEUNIER.

I.

Ayant été depuis de longues années appelé à étudier d'une manière très approfondie de nombreux types de glaciers et de régions présentant des traces de glaciers maintenant disparus, il m'a paru qu'un certain nombre d'assertions acceptées par la majorité des géologues méritent d'être soumises à une sévère révision.

La conclusion de mes recherches, poursuivies avec le plus grand soin et avec le souci dominateur de me dégager de toute opinion préconçue, m'a amené à contester quelques faits, qui sont cependant classiques, et à leur substituer des notions qui cadrent beaucoup mieux, suivant moi, avec les grandes lignes de l'économie planétaire. J'ai eu souvent à recueillir à leur égard de précieux contrôles et même des vérifications complètes.

L'idée qui ressortira des pages qu'on va lire, c'est qu'un glacier considéré à part est un appareil qui, tout en remplissant son rôle dans la physiologie générale de la planète, est en proie, pour son compte propre, aux progrès d'une véritable évolution. Il débute dans une région qui offre les conditions favorables; il s'accroît au fur et à mesure de l'amplification de ces circonstances heureuses; il parvient ainsi à un moment d'apogée, après lequel il traverse des phases de déclin, jusqu'au moment de sa disparition totale. Chemin faisant, le glacier peut entrer en relation avec un glacier voisin et s'engager avec lui dans une lutte ou compétition, à laquelle il succombe, ou dont, au contraire, il sort à son avantage. Dans un cas comme dans l'autre, il en résulte pour son histoire des incidents qui procurent l'explication de certaines circonstance, souvent mal comprises. Enfin, après la cessation du glacier comme organe actif, il laisse des vestiges de son existence passée, qui disparaissent progressivement, avec des détails précieux pour la reconstitution des conditions climatériques des époques reculées.

Cette étude de la Fonction glaciaire présentera cette particularité de faire entrer en ligne de compte le rôle de toutes les autres fonctions géologiques et de resserrer par conséquent les liens entre des

chapitres de la Science qu'on a pris l'habitude de considérer comme complètement indépendants les uns des autres.

§ I. L'Origine des Glaciers.

La formation des glaciers suppose l'existence de deux conditions tout à fait primordiales: 1° la continuité d'une température ambiante inférieure à zéro; 2° un sol suffisamment incliné pour que la masse compacte soit animée d'un mouvement continu de glissement.

Il résulte de la que, sous les latitudes où la température moyenne de l'année est supérieure à zéro, un glacier ne peut se former que sur des points du sol convenablement élevés et atteignant en conséquence, des zones atmosphériques suffisamment froides, en raison du degré atmothermique. Cela peut s'exprimer en disant que l'origine des glaciers dans les régions situées en dehors des zones polaires, est liée directement à la surrection des montagnes, ou, si l'on aime mieux, à l'exercice de la fonction corticale.

On sait que la température de l'atmosphère decroît régulièrement, à mesure que l'on s'élève, de 1 degré par 185 mètres. Il en résulte qu'à une certaine altitude, il n'y a plus de vapeur d'eau dans l'air, mais seulement des particules glacées, des aiguilles cristallines qui se comportent comme des poussières atmosphériques et tombent lorsque l'air est calme. Quand elles parviennent dans des zones inférieures plus échauffée, elles se transforment en vapeurs et n'arrivent au sol que par les temps d'hiver.

Les sommets montagneux constituent des réceptacles tout préparés pour l'eau cristallisée, et, se couvrant de neige, deviennent, par contre-coup, des centres de rayonnement de froid.

Suivons donc d'abord l'évolution des montagnes pour arriver à celle des glaciers.

Le grand Plateau centre—asiatique, d'une altitude de près de 6,000 mètres, représente les premières étapes du phénomène de surrection de montagnes assez hautes pour recevoir la neige, avec une constitution très éloignée de celle des montagnes proprement dites.

Il résulte de l'étude des échantillons rapportés au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, par M. Bonvalot et le Prince Henri d'Orléans, que les parties les plus hautes du massif Pamirien consistent en assises jurassiques fossilifères, qui n'ont aucune apparence des roches métamorphiques. Ce sont des calcaires argileux friables, très ressemblants à ceux qui entrent dans la constitution des régions françaises les moins tourmentées, comme les départements du Calvados et de l'Yonne.

Leur transport vertical jusqu'aux altitudes où ils atteignent maintenant, est le résultat de "bossellements généraux," qui nous apparaissent comme des contre-coups de travaux souterrains en rapports directs avec la production des montagnes. La comparaison avec maintes localités conduisent à une conception qui, bien que très directement connexe à l'histoire des glaciers, concerne cependant avant tout le chapitre orogénique. C'est que le mécanisme d'où résultent les montagnes est harmoniquement subordonné au régime général du globe qui doit traverser les phases successives d'une évolution véritable; qui doit en outre procéder aux modifications de son état général, sans compromettre les conditions d'équilibre de la surface, parmi lesquelles se signalent celles qui sont propres au développement de la vie.

Sans y insister, il est digne de remarque que l'écorce, forcée de suivre, dans sa contraction continue, le noyau fluide qui la supporte, doit se refouler sur elle-même, se doubler à la faveur de plis et de charriages, sans qu'il en résulte pour la surface autre chose que des tremblements de terre dont les plus graves ne déterminent jamais que des catastrophes locales, ne laissant après elles aucune trace *géologique* permanente.

Aussi bien, on peut considérer un massif du genre du Pamir comme contenant, en profondeur, une vraie chaîne de montagnes qui s'est soulevée lentement, après sa constitution, au titre de simple détail du grand ensemble en proie au bossellement général. Il faudra, pour que la montagne, caractérisée par sa structure bréchiforme et son état métamorphique, apparaisse au jour, que des actions externes la débarrassent de sa couverture de sédiments ayant échappé aux efforts mécaniques et aux actions calorifiques. De là, cette masse formidable de débris rocheux, dont les montagnes sont toujours entourées et dont le délayage et l'entraînement par les eaux pluviaires, alimentent la sédimentation aqueuse.

Bonvalot[1] nous a donné la description de l'érosion colossale dont le plateau du Thibet est le théâtre, du fait de la pluie et des autres agents de l'intempérisme: "Après, dit-il, que la meige sera tombée dans les mois qui suivront et que l'été sera venu, le soleil fondra ces *réserves* prodigieuses d'eau et ce sera, aux alentours de la chaîne Dupleix, une débâcle de fin du monde. Une inondation diluvienne déposera des lacs sur les hauts plateaux, les traversera de rivières qui

---

[1] *De Paris au Tonkin à travers le Thibet inconnu,* p. 215 et suiv. 1 vol. in 8° Paris 1892.

entraîneront les boues épaisses et laisseront aux flancs des collines et dans les anses, les débris des hauteurs. Ces dépôts restent là jusqu'à l'été suivant, car l'hiver arrête le cours des fleuves. Puis, la chaleur du soleil agit; elle liquéfie les masses solidifiées; celles-ci s'ébranlent, coulent, s'emportent, reprennent les dépôts où elles les ont laissés à l'entrée de l'hiver et les enlèvent. D'année en année, étape par étape, elles finissent par les charrier toujours plus bas, sans cesse obstruant les vallées, élargissant les gorges, déviant les fleuves, étalant les deltas."[2]

Donc, les masses superficielles seront successivement démantelées, puis supprimées et le massif orogénique, refoulé et métamorphisé, se dégagera comme le produit d'une gestation et d'une véritable déhiscence de ses enveloppes protectrices. C'est comme un détail nécessaire du phénoméne, que nous apparaît la suppression des portions superficielles d'un pays dont le sous-sol a été refoulé souterrainement, par des successions généralement très nombreuses de séismes.

Ajoutons que les observateurs sont d'accord pour voir avant tout dans nos grandes chaînes, Alpes, Pyrénées, Caucase, Himalaya, des résidus d'érosion pluviaire. On est allé parfois jusqu'à dire que les Alpes ont dû perdre de cette manière, autant de substance qu'elles en ont conservé. C'est au cours de cette suppression, que les chaînes sont devenues peu à peu de vraies montagnes et qu'elles ont apparu au jour comme les "ossements composant le squelette de la terre" selon une expression restée célèbre.

Disons en passant que le tremblement de terre est la cause efficiente des montagnes qui, une fois édifiées par lui dans les profondeurs de

[2] Le Plateau thibétain, n'est pas plus une région glaciaire que la surface plane de la Sibérie, dans laquelle se trouve le point de température minimum de toute la surface terrestre. Nous trouvons, quant au régime des neiges, un exemple analogue dans la Terre de Grinnel, explorée par Greely, en 1889 (Voir: *Dans les Glaces arctiques*, p. 270 in 8° Paris 1889). "Cette île, située par 82° de latitude nord, est entourée d'une ceinture de glaciers et, malgré cette circonstance, elle présente dans son intérieur des régions relativement fertiles, où paissent toute l'année de très nombreux troupeaux de bœufs musqués (*Ovibos moschatus*). Suivant l'expression du botaniste célèbre, Joseph Hooker, la Terre de Grinnel a "non pas un manteau, mais une ceinture de glaces." Et Greely écrivait: "La question des conditions physiques de l'intérieur de la Terre de Grinnell est résolue maintenant, comme l'ont fait pour la Terre Verte, les découvertes de Nordenskjold."

"Ces condition consistent, ajoute le voyageur, en ce que le terrain, montagneux et abrupt, ne permet pas aux neiges abondantes de l'hiver de se maintenir longtemps. De nombreuses vallées, longues et étroites, sont hérissées d'une quantité énorme de roches nues, dont les angles aident à concentrer la chaleur du soleil pendant l'été; ces vallées servent d'émissaires aux neiges fondues qui s'écoulent sur leurs falaises. Les riviéres de la saison chaude drainent le sol rapidement et longtemps, avant le retour des fortes gelées, toute la neige a disparu."

la croûte terrestre, sont mises progressivement à découvert, en attendant qu'elles soient ulterieurement supprimées par le jeu des actions externes, telles que la pluie et l'Océan. Exemple remarquable, par ses dimensions et par le contraste complet qui distinguent les unes des autres ses différentes phases, de ces cycles innombrables dont l'ensemble constitue toute la physiologie de la Terre.

C'est aussi le procédé par lequel s'élabore le genre de gisement favorable à l'établissement des glaciers. Et nous voici ramenés au cœur même de notre sujet.

L'érosion s'attaquant à la surface des couches soulevées par un bossellement général en même temps que le noyau orogénique q'elles recouvrent, en modifie progressivement la surface, d'abord continue et uniforme comme celle des grands fonds de mer. Ce travail, parallèle à l'œuvre de surrection qui peut se continuer pendant des périodes géologiques entières, favorise celle-ci en diminuant peu à peu le poids de la matière à soulever.

§ 2. Pouvoir de Transport des Glaciers.

Le glacier est un merveilleux appareil de condensation de l'humidité aérienne, qui s'y convertit en neige, puis se transforme en névé et en glace. C'est en même temps, un centre de dispersion aqueuse, car il s'y fait une évaporation active, même par le froid et surtout quand le vent souffle. Cette activité qu'il manifeste dans l'atmosphère, le glacier la déploie sur le sol, en transportant des particules rocheuses de toutes dimensions. Le poids n'intervient pas plus que la densité relative des débris: toutes les pierres, même les plus grosses, sont portées sur le dos du glacier. Ces sortes de "flotteurs" sont emportés comme les corps légers à la surface des rivières, et ils vont s'acumuler sur les berges en cordons longitudinaux ou moraines latérales.

Il y a cependant des différences relativement aux cours d'eau, et en particulier celles qui concernent les affluents ainsi que la terminaison du glacier, comparable à l'embouchure. Le mélange des filets provenant de deux glaciers qui se confondent n'étant pas possible comme celui des filets constitutifs des cours d'eau, les lisérés mitoyens de corps flottants s'associent en traînées longitudinales dites moraines médianes. En outre, les corps minéraux portés jusqu'à la région de fusion, au lieu de constituer un delta ou quelque sédiment, s'accumulent sans ordre en un bourrelet connu sous le nom de moraine frontale et qui fait comme une fortification derrière laquelle le glacier vient mourir.

Enfin, les glaciers qui aboutissent à la mer précipitent de leur front au fond de l'eau, des quantités de matériaux que les courants ne laissent pas s'accumuler sous forme de moraine. Triés plus ou moins par grosseur et étalés en nappes qui prennent à certains égards l'allure des sédiments ordinaires, ils vont s'emmagasiner dans des fjords qui finissent par en être comblés. Et les icebergs, détachés du front terminal s'en vont, quelquefois fort loin, laissant tomber au fond de la mer des débris rocheux, de gros blocs essentiellement erratiques.

§ 3. Erosion glaciaire.

L'érosion produite par le glacier est considérable et très particulière. Il agit indirectement sur les formations qui l'environnent en activant l'intempérisme, c'est-à-dire en donnant un grand volume aux pluies et en provoquant des congélations locales qui désagrègent les roches. De plus, par sa faculté de transport, il prive constamment les parties érodées de la protection des éboulis, si efficace ailleurs.

Mais c'est surtout par son action directe sur sa vallée que le glacier travaille à la démolition de la montagne. D'après les observations de Dollfus-Ausset,[3] le glacier de l'Aar qui, avec ses affluents, n'a qu'une surface de 60 kilomètres carrés, fournit par jour 100 mètres cubes de sable qui sont emportés par le torrent. L'ablation des vallées par les glaciers est donc bien supérieure à celle que produisent la plupart des cours d'eau, à égale superficie de bassin.

Le sol sous le glacier, subit une friction considérable du fait des graviers et des pierrailles, véritable matelas interposé entre la glace et le roc. M. Vallot[4] a insisté sur ce fait que la voûte gelée, à la Mer de glace de Chamonix, n'est pas *moulée* sur le sol, mais lui est simplement tangente. Le torrent sous-glaciaire s'est ménagé un véritable tunnel.

L'efficacité érosive du glacier n'en fut pas moins longtemps contestée et n'est encore admise, par certains géologues, qu'avec des restrictions et comme à regret. Lapparent, dont le *Traïté de Géologie* a la prétention de résumer l'opinion générale, a écrit en 1885:[5] "Nulle part, on n'a vu les glaciers creuser, affouiller un lit composé de roches dures, ni découper leurs parois comme font les torrents . . . Un glacier n'est donc pas, comme un torrent, un instrument efficace d'erosion . . . ; autant qu'on en peut juger, par ce qui se passe aujourd'hui, un glacier ne crée pas sa vallée, etc . . ."

[3] D'après Ed. Collomb memoires sur le glaciers actuels, *Annales de mines* (5)^e XI, 198.
[4] *Annales de l'Observatoire météorologique du Mont-Blanc*, III, Paris, 1898.
[5] 2e édition p. 285.

En 1893, le même auteur faisait parler autrement l'opinion générale:[6] "On a beaucoup discuté, dit-il, sur la puissance d'erosion des glaciers. Quelques-uns la croient considérable; d'autres seraient portés à la regarder comme négligeable. La vérité semble se trouver entre ces deux extrêmes . . . En principe, puisque le glacier est un fleuve de glace dont l'allure ne diffère de celle des eaux courantes que par une vitesse incomparablement moins grande, il doit comme les fleuves tendre vers un profil d'équilibre et, tant que ce profil n'est pas atteint, le pouvoir de la glace doit s'employer à modifier en conséquence la forme du lit . . . Même les roches les plus dures du fond ne peuvent échapper à cette action, car les blocs que transporte la glace, poussés par une pression considérable, agissent sur le fond et les parois comme de puissants outils, etc."

Il y a bien longtemps que, pour ma part, j'ai soutenu l'opinion que les glaciers réalisent par le frottement des pierrailles qu'ils entraînent sur les roches qui les supportent, un énergique travail d'érosion. J'écrivais en 1891:[7]

"Déjà j'ai eu bien souvent l'occasion de faire remarquer que la zone des roches moutonnées au-dessus de la glace dans les glaciers des Alpes et d'ailleurs, correspond à des points où la glace *n'atteint plus*, justement parce que, grâce à son action érosive, elle a pénétré verticalement dans la masse rocheuse sous-jacente. Elle est vraiment comparable à une scie, entrant dans une pièce de bois et qui bientôt se meut au-dessous des points qu'elle a sciés précédemment mais qui ne datent pas d'un temps où sa lame aurait été plus large."

"Ceux qui, dit Tyndall[8] ont soutenu que les glaciers creusent les vallées, n'ont jamais dit, ni voulu dire, que ce fût le *bec* du glacier qui agit dans ce cas. Pour le glacier de Morteratsch (Engadine), le travail de creusement, qui s'effectue certainement dans des proportions plus ou moins grandes, doit être bien plus considérable en haut qu'en bas du glacier."

La réalité et l'importance de la dénudation glaciaire est aujourd'hui reconnue par un grand nombre d'observateurs parmi lesquels nous citerons M. Richter[9] et M. W. Salomon.[10]

---

[6] *Traité de Géologie*, 3e édition, p. 279, 1893.
[7] *Le Naturaliste*, livraison du 15 janvier 1892, N° 118, p. 19.
[8] *Les Glaciers*, p. 95 I vol. in 8°, 6e édition Paris 1894.
[9] Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen, *Petermann's Mittheilungen*, 132e livraison, 1900, p. 103.
[10] Können Gletscher ein anstehendem Fels Kare Becken und Thäler erodieren? *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 1900, T. II, pp. 117–138, 2 pl.

L'attaque s'exerce même aux dépens des roches moutonnées. En effet, dans des excursions sur la Mer de Glace, aux Ponts et au Mauvais Pas, comme dans celles sur les glaciers de la Haute-Engadine et de bien d'autres régions, j'ai été frappé de ce fait que le poli des roches moutonnées qui dominent la glace, n'est pas le même à toutes les hauteurs: même de loin, on constate, très nettement en bien des points, qu'il est de plus en plus imparfait, c'est-a-dire de plus en plus altéré, à mesure que l'on s'élève. En outre, la limite supérieure des polis est loin d'être aussi nette que la limite supérieure du glacier et on voit des lambeaux de roches polies séparés de la masse générale des roches moutonnées, situées plus bas. Ces circonstances curieuses s'expliquent par la pénétration verticale du glacier dans la masse des roches qui le supportent, grâce à un mécanisme identique, à celui qui fait pénétrer dans une pierre le fil émerisé du lapidaire. En effet, l'âge des différentes parties du polissage est loin d'être le même: les parties hautes sont plus anciennes que les autres et, en conséquence, elles ont éprouvé plus longtemps l'action désagrégeante des intempéries; en même temps que les roches moutonnées gagnent par en bas, à cause de la pénétration verticale du glacier dans le sol, elles perdent par en haut, sous l'influence de l'intempérisme. On peut donc en conclure qu'elles ont pu jadis atteindre une altitude encore plus haute que celle qu'on observe aujourd'hui. De sorte que le procédé employé d'ordinaire pour restaurer les anciens glaciers devrait conduire à leur donner une dimension encore bien plus grande qu'on ne la suppose.

L'érosion glaciaire, soit directe, soit médiate, revêt si bien tous les traits essentiels de la dénudation fluviaire, qu'elle affecte une allure régressive, quant à son travail vertical, se traduisant par le phénomène de *Capture*, que j'ai reconnu dès 1897, et sur lequel nous reviendrons dans un moment.[11]

§ 4. Evolution des Glaciers.

Les glaciers doivent leur origine au soulèvement de la montagne, jusque dans les régions atmosphériques de température suffisamment basse; mais comme ils travaillent sans cesse à la démolir, elle subit une diminution de volume et surtout de hauteur qui entraîne le rapetissement du glacier. La neige reçue par le sommet étant moins abondante, la glace qu'elle produit par sa compression ne peut plus alimenter un courant aussi long que précédemment et le

[11] C. R. Acad, Sc. t. CXXIV, p. 1043 (10 mai 1897).

glacier abandonne, devant son front, une moraine terminale qu'il ne peut plus atteindre.

Il ne faut pas confondre le *recul des glaciers* avec les variations locales qu'ils subissent du fait de la météorologie, par exemple à la suite d'une série d'hivers peu neigeux. Le recul des glaciers passe par des alternatives, comme la mer descendante, dont la vague parfois semble regagner du terrain; le raccourcissement et l'allongement temporaire du glacier se perd dans l'allure général du phénomène, qui se retire peu à peu vers l'amont de la vallée, en laissant des moraines successives, très inégalement espacées, et entre lesquelles le sol offre seulement une dissémination de débris rocheux de toutes grosseurs: le terrain glaciaire *éparpillé* contrastant avec le terrain glaciaire *amoncelé,* dont le type est la moraine.

Le glacier qui diminue, change en même temps de forme: il perd la longue traînée qui descend vers les parties basses et se réduit à la portion élargie des régions élevées. Les Pyrénées, montagnes plus anciennes que les Alpes, et qui par conséquent subissent l'érosion depuis plus longtemps, nous offrent cette sorte de glaciers larges et courts, s'arrêtant au haut de vallées étroites, dont les flancs sont en beaucoup d'endroits parfaitement moutonnés et le long desquelles se montrent des moraines transversales, échelonnées de distance en distance, ce qui indique avec évidence que le glacier y a séjourné dans l'intervalle de ses raccourcissements successifs. Imaginons les Pyrénées remises en possession de tout ce qu'elles ont perdu depuis leur soulèvement, leurs sommets se retrouveraient dans les zones atmosphériques de fortes condensations neigeuses, et les cirques, mieux alimentés, reconstitueraient des glaciers semblables à ceux des Alpes.

Après le stade alpestre et le stade pyrénéen, nous arrivons au stade vosgien.

Si l'on part de la petite ville de La Bresse, pour remonter la vallée du Chajoux, en se rapprochant du sommet de Hohneck, on se trouve d'abord en présence de particularités topographiques tout à fait comparables à celles que nous offre le bas des vallées des Pyrénées. De magnifiques moraines se présentent aux regards, d'autant plus faciles à reconnaître qu'elles ont été recoupées par la rivière et entaillées pour le passage de la route. Sur le flanc des coteaux, accidentellement dépouillés du sol arable, on aperçoit des surfaces de roches nettement moutonnées. Mais, on a beau continuer son ascension, jusqu'au lac de Lispach, qui s'est établi derrière un barrage morainique, et même arriver au sommet du Hohneck, on ne

rencontre pas le moindre vestige de glace. Des plaques de neige pourront se voir encore jusqu'en août, dans les creux abrités du soleil; mais en septembre, elles auront toutes fondu. Pour qu'elles persistassent, il suffirait d'un bien faible exhaussement des Vosges, d'une restitution à la chaîne d'une partie seulement des matériaux que l'érosion lui a arrachés et qui gisent, à l'état de moraines, dans la vallée du Chajoux et dans toutes les autres vallées qui rayonnent en tous sens.

Les Vosges ont été comme les Pyrénées; les Pyrénées seront comme les Vosges.

Certaines autres régions françaises, comme la Bretagne, le Cotentin, l'Auvergne, privées de glace et souvent même de moraines, ont cependant possédé des glaciers. On y rencontre en effet, à la surface de terrains variés, des blocs erratiques, semblables à ceux que charrient les glaciers et qu'ils abandonnent à leur moraine terminale. La détermination paraît d'autant plus légitime que les monts d'Arrée, par exemple, malgré leur altitude actuelle de simples collines, se révèlent par leur structure caractérisée, comme les résidus d'érosion d'une chaîne primitivement bâtie sur le modèle des Alpes. L'intempérisme a dispersé les moraines, attaqué les surfaces polies des roches moutonnées; il a laissé, provisoirement, quelques gros fragments rocheux particulièrement résistants.

L'appareil glaciaire s'est donc développé successivement dans les différents massifs montagneux, chaque fois que ceux-ci ont présenté une altitude suffisante pour y assurer la persistance de la neige. Successivement, les centres glaciaires ont occupé des régions différentes, et l'on peut croire qu'au total, les diverses époques se sont tres intimement ressemblé par le nombre et par le volume des glaciers développés durant chacune d'elles et seulement repartis differemment.

L'*émigration des glaciers*, comparable à l'émigration des continents mais dont la chronologie est plus difficile, faute de fossiles permettant de les dater, doit être substituée à la conception d'une *époque glaciaire*, dans laquelle les diverses traces glaciaires seraient contemporaines les unes des autres, où il y aurait eu beaucoup plus de glaciers que dans aucun autre temps, ce qui est essentiellement contraire à la marche, si évidemment continue et uniforme, de l'évolution de la surface terrestre.

La capture des glaciers est un point particulier et d'un haut intérêt de leur évolution. La capture est une analogie de plus, entre les cours d'eau solidifiée et les rivières. Comme ces dernières, des glaciers voisins doivent nécessairement réagir les uns sur les autres.

Imaginons deux glaciers A et B, remplissant deux vallées orientées à angle plus ou moins ouvert l'une sur l'autre, et disposées de telle sorte que le bassin supérieur de A soit séparé de la partie moyenne de B par une cloison rocheuse peu épaisse, la pente de A étant plus accentuée que celle de B. Dans ces conditions, la régression de tout l'ensemble du glacier A, amène l'amincissement de la cloison séparatrice en B, et plusieurs voyageurs ont directement observé le phénomène et en ont decrit les progrès, comme sir Martin Conway, en 1898, pour le Spitzberg,[12] et M. Williard D. Johnson, pour les Etats-Unis, en 1899.[13] Lorsque la destruction de cette cloison s'est enfin réalisée, et qu'alors le glacier A, en conséquence de sa pente plus forte, exerce une véritable succion sur la glace de B et la dérive à son profit, B est *décapité*, pour adopter l'expression employée à l'égard des cours d'eau, et A a réalisé la capture de la portion supérieure de B.

Le glacier A, conformément à la loi générale, avait subi une diminution consécutive à l'abaissement de son bassin d'alimentation sous l'influence de l'érosion; il avait abandonné sa moraine frontale et en avait édifié de nouvelles en arrière de celle-là; sur le terrain glaciaire éparpillé, s'était établi alors un régime continental ordinaire: production d'un étang ou d'une tourbière, avec débris organiques enfouis, animaux et végétaux. Mais voici la capture qui a lieu: une nouvelle contribution de glace vient s'ajouter au volume du glacier: il se gonfle, passe par dessus sa moraine frontale qu'il écrase et transforme en *moraine profonde*, s'avance sur la tourbière ou sur l'étang, en recouvre les formations de son dépôt éparpillé et récupère sa dimension primitive qu'il peut même dépasser.

Puis la diminution inéluctable reprend ses droits; le glacier recule de nouveau et finalement disparaît. Et si l'on est mis en présence d'une coupe du sol, intéressant les diverses formations dont nous avons résumé la production successive, on y verra: une assise fossilifère, argileuse ou tourbeuse, contenant des coquilles lacustres, des animaux et des végétaux terrestres, intercalée entre deux niveaux glaciaires: l'inférieur datant de l'évolution propre du glacier A, le supérieur se rapportant au retour de ce glacier, enrichi par la capture.

Ces conditions se retrouvent dans un grand nombre de localités, par exemple à Dürtein, à Utznach, à Wetzikon auprès de Zurich. M. Kilian[14], étudiant la gorge de Fort l'Ecluse, entre Genève et

---

[12] *Geographical Journal*, XII, No. 2, p. 137.

[13] *An unrecognized process in glacial erosion.* Second Annual Report of the National Geographical Society of the United States of America—in *Science* (de Londres) nouvelle serie IX, No. 212.

[14] *Bulletin de la Société Géologique de France* (4e) X. 716 (1910).

Bellegarde, y a reconnu les traces de plusieurs récurrences glaciaires séparées par des dépôts d'alluvions, indiquant plusieurs cycles d'érosion successifs. En effet, le nombre des nappes morainiques supérposées peut être supérieur à 2, par exemple de 3 ou de 4, ou même de 6, comme on le constate en certains points de l'Angleterre. Le fait tient au nombre de glaciers situés dans un même massif montagneux et qui ont pu entrer en communication.

Comment tous ces faits ne nous mettraient-ils pas en garde contre le danger évident qu'il y aurait à regarder les diminutions et les accroissements alternatifs de deux glaciers différents, comme ayant été exactement concordants dans le temps, c'est-à-dire non pas seulement de la même époque géologique, mais du même instant précis. C'est cependant parce qu'on eut cette idée inacceptable qu'on a cru à l'existence de périodes alternatives de grandes extensions et de reculs des glaciers. Manifestement il faut renoncer à cette conception qui restera dans l'histoire de la Science, comme le témoignage d'un moment d'aveuglement.

§ 5. Le Grand Phénomène erratique du Nord.

Nous savons que les glaciers polaires, aboutissant à la mer, ne peuvent se construire de moraines, mais qu'ils déposent le long de la côte, sous les eaux, une épaisse formations sédimentaire, et que chemin faisant, les icebergs entraînés par les courants, parsèment le fond de la mer de limons, de sables, de graviers, de pierres, quelquefois d'un volume considérable. Ce phénomène, qui s'est produit aux époques géologiques immediatement antérieures à la notre, a imprimé un caractère particulier au sol de vastes régions. Une partie de l'Europe, constituant comme une auréole autour de la Scandinavie et comprenant une large bande de l'Allemagne et de la Russie de l'Ouest dont le sol est relativement très récent, est couverte de matériaux éparpillés offrant le caractère glaciaire. Ceux-ci consistent en débris et parfois en très gros blocs de roches fort anciennes. Parmi ces roches, il en est de si reconnaissables qu'il est facile de déterminer leur lieu d'origine. Dans le nombre sont des calcaires à Orthocères venant, sans aucun doute, de l'île de Gothland, dans la mer Baltique, et des syénites zirconiennes, qui ont été arrachées aux rochers des environs de Christiana: les uns et les autres ont été transportés jusqu aux alentours de Berlin. La disposition des lieux est telle qu'on doit voir dans la dispersion de ces matériaux, le résultat de la dispersion d'icebergs ayant leur point de départ dans les Alpes Scandinaves et datant d'une époque où ces montagnes étaient couvertes de glaciers

pendant que les pays sur lesquels s'est étalé le "grand phénomène erratique du Nord" étaient submergés sous les flots d'une mer recevant les têtes des glaciers suédois.

La persistance d'un semblable phénomène à travers des périodes géologiques successives s'explique par un simple déplacement de la localité où il se développe. Si l'Atlantique venait un jour à se déssécher par suite du soulèvement de son fond au-dessus du niveau des mers, la ressemblance des effets qui s'y développent aujourd'hui avec ceux qui ont pris naissance antérieurement en Allemagne et en Russie pourrait porter à faire admettre que les deux régions ont été soumises *en même temps* au phénomène glaciaire; et l'erreur, cette fois si manifeste, accentuera nos remarques de tout à l'heure sur la non-contemporanéité des moraines ou des roches moutonnées, des diverses régions continentales.

Les traces du grand phénomène erratique se retrouvent en Amérique du Nord comme en Europe. Il irradie des sommets montagneux du Canada, qui se révèlent ainsi comme ayant, dans le passé, porté des glaciers aboutissant à un océan étendu, dans ce temps-là, sur les Etats-Unis.

Si l'on ne voyait pas l'Atlantique à l'œuvre et si l'on ne connaissait que les régions européennes et américaines couvertes de terrains erratiques, on ne ferait nulle difficulté de supposer qu'elles ont acquis leurs caractères spéciaux dans un même moment. La notion fournie par l'existence de l'Atlantique montre comment l'opinion contraire est plus vraisemblable et même comment il n'y a aucune raison de croire que toute la région européenne d'une part, et que toute la région américaine de l'autre, aient subi le phénomène erratique chacune d'un seul coup. Tout porte à admettre que la cause de dispersion des icebergs a dû se déplacer avec le temps, en conséquence de la propagation progressive des bossellements généraux et de l'émigration de la mer.

II.

La Question des Galets striés.

La plupart de nos lecteurs verraient sans doute une lacune impardonnable dans l'oubli des *galets striés* parmi la série des caractères propres aux formations glaciaires. K. von Zittel, cet esprit d'ordinaire si judicieux, est allé jusqu'à dire: "L'indice le plus infaillible de l'origine glaciaire d'une formation se trouve dans la présence des cailloux striés. On ne rencontre que très rarement des stries sur des fragments de roches cristallisées, de grès quarteux et de jaspe; par

contre, elles se font voir de la manière la plus reconnaissable sur les fragments calcaires, particulièrement sur ceux de couleur sombre. Dans une moraine profonde qui n'a pas été remaniée et lavée par les eaux, presque tous les cailloux calcaires portent des stries qui souvent sont aussi profondes que si elles avaient été gravées avec un burin."[15]

Tout le monde à peu près, était en ce temps là du même avis, et cette quasi-unanimité en imposait assez aux dissidents pour qu'ils conservassent *in petto* les objections qui se présentaient à leur esprit.

On s'explique d'ailleurs jusqu'à un certain point l'erreur qui consiste à attribuer aux stries des galets une origine glaciaire et l'on comprend qu'une fois l'erreur commise on ait tenu d'instinct à la conserver, parce qu'elle semblait un guide commode dans la reconstitution de l'histoire géologique des glaciers.

Quant au premier de ces deux points de vue, il faut reconnaître que c'est surtout dans la masse des dépôts glaciaires, et avant tout dans les moraines, que les galets striés ont été observés. Par exemple, c'est sur les moraines des Vosges qu' Ed. Collomb[16] a fait les observations, pour ainsi dire initiales, qui ont été complétées par des expériences, prouvant que les galets striés passent à l'état de galets ordinaires, quand on les sommet à un frottement semblable à celui qui se développe dans le lit d'un cours d'eau.

On a conclu de ces observations qu'un glacier constitue un appareil des plus fragiles et que sa disparition totale doit suivre immédiatement l'envahissement par la mer de la région où il existait.

La première action des flots a été sans aucun doute de démanteler les moraines et d'en laver les matériaux hétérogènes. Le frottement leur a fait perdre les traits morphologiques qui pouvaient leur être caractéristiques et le balancement des eaux les a répartis rapidement en dépôts parfaitement classés, parfaitement distincts les uns des autres et n'ayant plus rien qui puisse les distinguer des sédiments ordinaires.

D'un autre côté, comme on retrouve des galets striés au sein de formations géologiques d'âges très divers, on a été enchanté, et à bon droit, de croire à leur autorité pour révéler l'action glaciaire à tous les moments de la vie de la Terre.

La première fois que j'ai eu des doutes sur l'origine glaciaire des stries, j'en ai ressenti une espèce de consternation et j'ai fait tout

---

[15] *Ueber Gletscher Erscheinungen in der bayerischen Hochebene; Bulletin de l'Académie de Munich,* 1874, p. 225.

[16] *Preuves de l'existence d'anciens glaciers dans les vallées des Vosges.* in 8° Paris 1847.

au monde pour ne pas céder à l'invitation, que semblaient me faire certaines particularités des Préalpes vaudoises, de me mettre en dissentiment avec l'immense majorité des géologues. Déjà, j'avais provoqué des résistances à l'occasion de bien des sujets différents, tels que la doctrine de la sédimentation souterraine qui me paraît cependant de plus en plus légitme; tels que l'origine, par réactions gazeuses, des roches silicatées magnésiennes de consolidation primitive; tels que la capture des glaciers; tels que le mode de creusement des vallées par les rivières et la constitution du diluvium; tels que le fait des relations stratigraphiques réciproques des divers types de méteorites; tels que beaucoup d'autres qu'il n'est pas nécessaire de rappeler.

Je dois avouer que j'eus un moment d'hésitation avant de me lancer dans l'exposition des faits qui me conduisirent à affirmer que, si dans les Préalpes vaudoises, d'anciens glaciers ont existé, ce qui est bien possible, ils n'ont laissé aucune trace de leur existence. En d'autres termes, que tous les accidents considérés comme des témoignages de l'ancienne existence des glaciers dans le pays, se rattachent avec évidence à des causes toutes différentes, et ne comportent pas les conséquences générales qu'on a cru pouvoir tirer de leur étude.

Je n'entrerai pas ici dans le détail de mes recherches, et je donnerai seulement deux observations.

Des spécimens recueillis au pied des Pléiades, au-dessus du village de Blonay, à 4 kilomètres au N. de Vevey (Suisse), consistent en galets de calcaire poli, présentant une prodigieuse abondance de stries et une extrême variété dans leurs directions. Toutes les faces de ces galets sont striées en tous sens. En outre, tous les galets calcaires contenus dans le sol sont semblables à ceux-ci par l'état de leur surface; mais les roches plus dures, grès, granulites, serpentine, etc., ne sont pas striées ou ne le sont que d'une manière exceptionnelle et avec parcimonie.

Or, si les stries étaient l'œuvre du glacier, leur orientation générale devrait indiquer celle de la pression supposée; mais elles sont également nombreuses dans tous les sens possibles. D'ailleurs, la pression du terrain, aussi forte qu'on puisse la supposer, ne saurait produire que des stries associées à des écrasements de beaucoup prépondérants, et c'est ce que démontre l'expérience.

Une autre remarque qui, à elle seule, semble réduire à néant l'hypothèse que les stries des galets calcaires sont dus à l'action des glaciers, c'est que si telle était en effet leur origine, si par conséquent elles dataient d'une antiquité de quelques milliers d'années seulement,

(et dans le pays de Vevey ce n'est pas assez dire), elles auraient depuis longtemps disparu par le fait de la corrosion réalisée par les eaux d'infiltration. J'ai fait disparaître en moins d'un an le poli et la plupart des stries de galets que j'avais abandonnés dans la terre végétale à toutes les alternatives saisonnières.

Une coupe rencontrée sur la rive droite du torrent appelé la Baie de Clarens, qui descend du pied S. O. du Mont Folly, pour se jeter dans le lac Léman, m'a procuré des observations dignes de mention. Les travaux d'une route joignant Blonay à Charnex, avaient nécessité l'ouverture d'un énorme placage de terrain caillouteux, recoupé en face de Brent, suivant la pente du sol, par une tranchée de 200 mètres de longueur et dont les parois montraient le contact d'une surface trés inclinée de roches schisteuses, avec recouvrement épais de terrain caillouteux.

Cette ligne de contact est très inégalement inclinée selon les points: tandis que, dans certaines de ses parties, elle plonge très vite, dans d'autres, au contraire, elle est bien moins éloignée de la direction horizontale. Et la conséquence, c'est que les eaux d'infiltration ruissellent dans la masse avec une activité très inégale ici et là, et que le travail de la dénudation souterraine est d'être loin d'être uniforme d'un point à l'autre.

Dans le premier cas, et toutes choses égales d'ailleurs, on voit la boue beaucoup moins abondante, pendant que les galets calcaires sont très exactement polis et très richement striés; au contraire, dans l'autre cas, on observe des intervalles de niveaux limoneux et un excès de boue qui, bien loin de présenter la structure des moraines, permet de retrouver des formes de deltas superposés. En même temps, on reconnaît que les stries font à peu près défaut sur les galets calcaires.

Nous avons prononcé les mots "dénudation souterraine." C'est là qu'en effet, est la cause des stries sur les galets calcaires.

Beaucoup des caractères morphologiques de la surface du sol lui viennent d'actions souterraines dont ils sont le contre-coup.

Une partie des eaux courantes s'infiltre dans la terre végétale pour s'écouler à la surface de la roche sous-jacente. Quand la pente est convenable, l'écoulement détermine, l'usure de ce substratum, et des réseaux de dépression allongés se produisent avec l'apparence de vallées sans cours d'eau visible. Le manteau de sol arable s'affaisse peu à peu au cours de ce travail, sans cesser de persister, et tout en étant le siège d'un renouvellement incessant de toutes ses particules.

Dans les pays à forte pente, cette dénudation souterraine, toute voisine de la surface du sol, prend des caractères extrêmement intéressants. Pour observer les faits avec leur maximum de netteté il faut choisir une localité dont la roche vive soit recouverte de ces placages boueux à pierrailles de toutes les grosseurs, comme dans l'exemple que nous venons de citer.

Ces placages, quoique à base argileuse, sont cependant bien perméables, à cause du sable quartzeux qu'ils contiennent en proportion très notable et des blocs rocheux qui y sont disséminés; aussi l'eau d'infiltration y circule-t-elle avec une assez grande facilité.

Sous l'influence du liquide en mouvement, le terrain subit des pertes qui dérivent, les unes d'une dissolution de substances calcaires dans l'acide carbonique de l'eau de pluie, les autres d'un entraînement mécanique de particules argileuses qui troublent l'eau d'une façon très visible à la base des pentes et la rendent même tout à fait boueuse, quand les pluies sont fortes et prolongées.

La perte de matière qui provient de cette double cause est très notable et elle détermine nécessairement un tassement sur elle-même de la matière restante, qui glisse en même temps sur la roche supportant le placage boueux et qui, comme nous l'avons vu, est ici fortement inclinée.

Dans ce mouvement de contraction du terrain, il s'inflige pour ainsi dire à lui-même une nouvelle forme de la dénudation souterraine. A cause de son hétérogénéité, le déplacement relatif de ses grains durs et de ses éléments plus tendres amène l'usure de ceux-ci, et souvent cette usure se manifeste par l'acquisition de détails morphologiques des plus remarquables.

Les grains de quartz de toutes grosseurs, se mouvant très lentement, mais d'une manière continue, contre les fragments calcaires, contribuent à les user.

Ces fragments calcaires, d'abord très anguleux, comme on le voit dans les parties hautes de la région, s'émoussent peu à peu sous l'influence des actions si bien connues et qui tendent à supprimer dans les roches qui les subissent toutes les parties saillantes pour y substituer des contours arondis. Si bien qu'un cube ne tarderait pas à passer à une sphère plus ou moins parfaite et que des polyèdres quelconques marchent vers l'état d'ellipsoïdes. Il y a longtemps que j'ai insisté sur ce mode de production de galets sans charriage.[17]

Dans nos placages boueux, l'action d'émoussement dû à l'eau

[17] *La Nature*, 5e année, 1e semestre, p. 330. Paris, 1877.

souterraine et qui fait peu à peu des galets avec des blocs anguleux, se complique de la collaboration de ce déplacement intestin des grains de quartz par rapport aux débris calcaires sous l'influence de la dénudation souterraine.

En conséquence de la soustraction de substance soluble ou entraînable réalisée par l'eau d'infiltration, ces petits grains de quartz se meuvent sur la surface des blocs, lentement mais d'une façon continue, et avec une pression qui est mesurée par le poids du terrain superposé. Il en résulte que les surfaces convenablement tendres et avant tout, les surfaces de calcaire compacte, se polissent véritablement: comme elles se poliraient sous l'influence d'une molette, dans un atelier de marbrier.

Ce poli se renouvelle sans cesse: un galet poli enfoui dans la terre arable exposée à la pluie perd en très peu de temps sa surface caractéristique, il se ternit, il se corrode. Et c'est pour cela que nous pouvions tout à l'heure dire que, si de semblables galets avaient été polis par les glaciers quaternaires dans les placages où on les trouve maintenant, il y a un temps incalculable qu'ils auraient perdu le poli auquel on prétend les reconnaître. Mais dans leurs gisements, à mesure qu'ils sont attaqués, ils se polissent de nouveau et cela sans arrêt. Si la grande masse des petits grains quartzeux arrive à polir et à entretenir polis sous toutes leurs faces, les galets calcaires contenus dans les placages boueux des Préalpes, certains grains de même nature, mais de plus forte dimension, y impriment leur contact sous la forme de stries ou de rainures plus ou moins longues et plus ou moins profondes. Or c'est à cause des cailloux striés que certains géologues ont essayé de faire considérer les placages boueux des Préalpes comme étant d'origine glaciaire. Mais il y a impossibilité à soutenir cette opinion, par les mêmes raisons invoquées déjà à l'occasion des galets observés dans la masse d'anciennes moraines comme celles des Vosges. L'une des plus déterminante, c'est l'abondance même des stries, leur présence sur tous les galets calcaires sans exception et sur toutes les faces de ces galets. Involontairement, et malgré le respect que doit nous inspirer le nom de certains des géologues glacialistes que nous combattons, on ne peut se défendre d'un certain étonnement quant au succès d'une doctrine si insoutenable.

Les effets de dénudation observés à la surface des galets glacaires se retrouvent, avec les variantes qu'on peut prévoir, à la surface des roches calcaires sous-jacentes à certains placages boueux.

Le déplacement lent et incessant, sous une pression notable, des

grains de quartz au contact de calcaire compacte, a nécessairement usé celui-ci; toutes les aspérités y sont remplacées par de molles ondulations, par une forme moutonnée pareille à celle que les glaciers ont donnée aux roches qui ont subi leur friction. En vertu des circonstances mentionnées pour les galets, la surface moutonnée a été en même temps très exactement polie, et son poli est renouvelé constamment comme celui des galets. Enfin, cette roche a été, comme les galets encore, pourvue de stries et de sillons plus ou moins longs, plus ou moins nombreux, et tout cet ensemble reproduit dans ses traits généraux les effets déterminés par le passage des glaciers;—car il va sans dire que si les galets sont impuissants à strier les galets, ils sont au contraire très aptes à strier, à canneler et à polir les roches en place qui les supportent.

Mais un fait montrera à lui seul qu'il y a en jeu une cause essentiellement différente d'un cas à l'autre.

Rectifiant, il y a quelques années une route qui va de Glion au Mont Caux, on attaqua des placages boueux à galets striés et, dans un point, on mit à nu une magnifique surface calcaire moutonnée, polie et striée, offrant tous les caractères glaciaires, du moins aux yeux de géologues trop prêvenus pour voir sainement les faits. Or, on reconnut que cette surface était seulement la partie supérieure d'un énorme bloc de plusieurs mètres cubes, noyé dans le placage boueux, et l'on voyait très nettement, dans certains points de ses surfaces latérales et même de sa surface inférieure, quej'ai pu aisément dégager en un point, la reproduction exacte du même poli et de la même striation. Cette pierre était donc un gigantesque galet pareil aux autres; elle avait été polie et striée ainsi en glissant avec une grande lenteur sur le terrain boueux sous-jacent.

En outre, dans la région de la surface polie, qui semblait bien "être en place," on voyait le poli et les stries, même dans les dépressions, sans qu'on pût trouver nulle part une de ces zones *préservées* du frottement, comme il y en a dans toutes les surfaces glaciaires.

Une objection qui se présente à l'esprit contre la production des stries par dénudation souterraine, c'est la prétendue imperméabilité du terrain argileux à galets polis des Préalpes et des régions analogues. Or, cette imperméabilité est absolument illusoire: dans toute la région des Préalpes que j'ai étudiée, les placages se comportent comme de véritables réservoirs hydrauliques et de leur épaisseur sourdent d'innombrables sources parfois volumineuses. Ces sources, si visibles auprès de Blonnay, de Brent, des Avants, etc., sont essentiellement incrustantes. A Blonnay, il faut souvent remplacer, pour

cause d'obstruction travertineuse, les tuyaux de conduite établis pour capter ces eaux: j'en ai recueilli des échantillons très démonstratifs. Aux Avants et entre cette station climatérique et Montreux, la *tuffière* et d'autres monticules, représentent des amas de calcaire concrétionné émis par les placages. Il y en a un spécialement net au lieu dit *Sex que pliau* (la pierre qui pleut) au-dessus d'En Saumont, non loin de l'Alliaz; des feuilles et des coquilles terrestres y ont laissé des moulages parfaits.

J'ai pu assister véritablement à la production progressive du poli à la surface des blocs calcaires compris dans les éboulis, en étudiant successivement des escarpement choisis de plus en plus loin des sommets des Préalpes. Vers Sotodoz (1800 mètres), au pied des Rochers de Naye, les fragments rocheux dont il s'agit sont nettement anguleux et n'ont rien pour attirer l'attention; vers l'altitude du Mont-Caux, les arêtes vives et les parties anguleuses sont déjà devenues très rares et les blocs polis sont déjà très nombreux; leur maximum se trouve depuis les Avants jusqu'à Blonnay. Plus bas, la forme du pays cesse d'être favorable au glissement indispensable à la production qui nous occupe et l'on ne voit aucun galet.

Je suis arrivé à reproduire par l'expérience le phénomène de striation souterraine des galets et des surfaces rocheuses par un dispositif très simple.

Il était nécessaire de modifier les conditions naturelles tout en leur laissant leur caractère essentiel, de façon à leur faire produire un effet rapide et plus tangible. Pour cela, deux choses s'imposaient: 1° recourir à une substance beaucoup plus facile à rayer que le calcaire, puisque les forces mises en œuvre allaient être incomparablement plus faibles que celles qui interviennent dans les phénomènes naturels; —2° provoquer dans le sous-sol soumis à la dénudation, des mouvements plus accentués, afin de provoquer des résultats plus rapides. [Le premier point a conduit a employer des representations des galets en plâtre moulé, parfaitement lisses et polis. Pour cela on remplit de plâtre gâché de consistance très liquide, de petits ballons de verre, les uns sphériques et les autres ellipsoïdaux, c'est-à-dire du modèle dit des matras d'essayeur. Une fois le plâtre bien pris, on brise le verre avec précaution, à moins qu'il ne se brise de lui-même par dilatation du plâtre, et on enlève les fragments avec beaucoup de soin pour ne pas produire de rayures.

Le second point a conduit à adopter comme substance constitutive du sol artificiel, dans la masse duquel la striation devra se faire, un mélange, à volumes égaux, de sable quartz eux pas trop fin et de gros

sel de cuisine. Soumis à l'action de l'eau, ce mélange se réduira à la moitié de son volume et il sera le siège de déplacements intestins favorables à l'effet désiré.

Le mélange de sable et de sel est placé dans une boite rectangulaire en bois, et j'ai d'ordinaire employé 10 kilogrammes de sel et le volume correspondant de sable. Pendant le remplissage, qui se fait avec une pelle, on place successivement dans le mélange pulverisé, les boules de plâtre, de façon à ne point les frotter et par conséquent à ne point rayer leur surface. Quand la caisse est bien pleine, on dépose sur le mélange une planchette qu'on surcharge d'un poids de 20 à 30 kilogrammes. Il n'y a plus qu'à faire arriver au contact de la substance, un filet d'eau qui peut venir soit d'en haut, soit d'en bas, soit latéralement, pour avoir des effets très variés de tassements, avec glissements en sens divers. Après la dissolution totale du sel, on arrête l'expérience, on laisse égoutter, on ouvre la boite, en empèchant tout déplacement de son contenu et, avec les précautions les plus minutieuses, on extrait les boules qui sont lavées avec un jet d'eau et mises à sécher.

On observe alors à leur surface des paquets de stries qui ont avec celles des galets calcaires des placages boueux, les analogies les plus frappantes et les plus instructives.

C'est ainsi que les stries sont dirigées indifféremment dans tous les sens et le même sphéroïde peut en présenter en plusieurs directions. Après une seule expérience, elles sont peu nombreuses, mais on les multiplie aisément en remettant successivement les mêmes boules de plâtre dans l'appareil.

On peut aussi y placer une dalle plane en plâtre convenablement inclinée et obtenue par moulage dans une cuvette de porcelaine. Après l'écoulement on y voit des stries qui présentent le caractère très remarquable d'être fréquemment interrompues et parfois à plusieurs reprises, comme le sont de leur côté les stries naturelles.

La conclusion de ces remarques et de ces expériences a d'autant plus d'importance que le terrain à galets striés, jouit d'une aire de dispersion gigantesque. On le retrouve, pareil à celui des Alpes dans les contreforts de toutes les grandes chaînes comme les Pyrénées, les Carpathes, le Caucase, l'Himalaya,[18] les Montagnes Rocheuses, etc. M. Roussanoff, membre de la mission de M. le comte Bénard, a déposé au laboratoire de géologie du Muséum, des spécimens de galets calcaires et schisteux, polis et striés, provenant de la Nouvelle-

---

[18] *Climbing in the Himalayas,* by Sir Martin Conway. I vol. in 8° Londres.

Zemble et identiques à ceux qui viennent du pays de Vaud. Ils ont été recueillis dans la moraine du glacier Jacques Costier, vallée de la Christovaïa, ainsi que dans une ancienne moraine du cap Stolbovos.

Thomson[19] décrit une "moraine" avec galets striés où la pluie détermine la production de cheminées des fées (*gigantic mushrooms*). "The morain is full of great polished subangular blocks in a matrix of finer material." On se croitait en présence des placages boueux des Préalpes vaudoises. Il faudra, quelque jour, refaire toutes les cartes de ces dernières régions pour supprimer la qualification de glaciaire donnée à cette formation.

Des faits complètement concordants avec ceux que j'ai décrits ont été signalés par le géologue anglais Bonney.[20] En en résumant ses résultats[21] M. Marcellin Boule a bien voulu ajouter: "On ne peut reprocher à M. Bonney que d'avoir oublié de, citer les travaux importants de M. Stanislas Meunier sur le même sujet. Depuis longtemps, en effet, le savant professeur du Muséum a montré qu'on prenait souvent dans les Alpes pour des moraines des accumulations de blocs et de boues dont l'origine est précisément celle qu'indique le géologue anglais. M. Stanislas Meunier va même plus loin. Il a montré par de curieuses expériences de laboratoire que les cailloux striés eux-mêmes peuvent se trouver dans les pseudo-moraines. Je suis heureux de rappeler ici les titres de priorité de M. Stanislas Meunier au sujet d'une question qui est pour nous de la plus haute importance."

L'interprétation des galets striés que je viens de développer, et qui me paraît devoir être définitivement adoptée, conduira comme première conséquence, à modifier sensiblement la carte géologique d'un très grand nombre de régions. Le signe adopté pour désigner les formations glaciaires devra y être remplacé par celui qu'il faudra choisir pour *les éboulis à galets striés.* Le long de la plupart des chaînes montagneuses et surtout des chaînes calcaires, il faudra lui réserver une zone assez large, aussi bien dans les Pyrénées et dans les Alpes, que dans une grande partie du Jura et dans les pays analogues.

Cette seule modification sera éloquente pour montrer l'illusion qui a conduit à supposer une ou plusieurs périodes glaciaires, en même temps que pour faire admettre dans la série des conditiones édificatrices de formations notables de tous les temps, la dénudation intempérique qui, dans les montagnes, accumule les éboulis sur les

---

[19] *Travels in the Atlas and Southern Morocco*, p. 326 Londres 1889.
[20] *Geological Magazine*, janvier 1902.
[21] *L'Anthropologie*, livraison de mars, 1902.

surfaces convenablement inclinées. On est, en effet, très surpris à première vue que le phénomène des éboulis, si prédominant dans les montagnes soumises, à l'époque actuelle, aux actions météorologiques, semble n'avoir pas existé dans les périodes antérieures. La représentation à laquelle on arrivera nécessairement ainsi contribuera à faire ressembler, d'autant plus les unes avec les autres, les époques successives de l'évolution terrestre, en même temps qu'elle fera disparaître la singularité des temps glaciaires contrastant si étrangement avec la parfaite continuité qui règne sans partage dans tous les autres chapitres de la Géologie.